冬青油与肉桂油对淡色库蚊的生物活性

马卫宾[1]，冯俊涛[1,2]，马志卿[1,2]，江志利[1,2]，张 兴[1,2,*]

(1. 西北农林科技大学无公害农药研究服务中心，陕西杨凌 712100；
2. 陕西省生物农药工程技术研究中心，陕西杨凌 712100)

摘要：为进一步明确冬青油(wintergreen oil)与肉桂油(cinnamon oil)对蚊虫的生物活性，本研究采用浸液法、"Y"型嗅觉仪法和密闭三角瓶熏蒸法，分别测定了两种精油对淡色库蚊 *Culex pipiens pallens* 幼虫的毒杀作用以及对成虫的驱避和熏杀活性。结果显示：肉桂油和冬青油对淡色库蚊幼虫均具有较强的毒杀作用，处理24 h 的 LC_{50}分别为71.87 mg/L 和 102.83 mg/L。在0.5 μL 的供试剂量下，冬青油与肉桂油在20 min 内对淡色库蚊的驱避率均在80%以上，显示了较好的驱蚊活性。冬青油对淡色库蚊具有明显的熏蒸击倒作用，12 μL/L 浓度下的 KT_{50}为3.97 min；而肉桂油则具有较好的熏蒸致死活性，熏蒸5 h 的 LC_{50}为0.31 μL/L。冬青油与肉桂油按1:1 体积比混配后对淡色库蚊表现出较好的击倒和致死效果。冬青油和肉桂油既对淡色库蚊幼虫具有较强的毒杀作用，又对淡色库蚊雌成虫表现出较好的驱避和熏杀活性，具有开发成为植物源蚊虫防控剂的潜力。

关键词：淡色库蚊；植物精油；冬青油；肉桂油；杀蚊幼活性；驱避活性；熏蒸活性

中图分类号：Q965.9 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2013)12-1391-06

Biological activities of wintergreen oil and cinnamon oil against *Culex pipiens pallens* (Diptera: Culicidae)

MA Wei-Bin[1], FENG Jun-Tao[1,2], MA Zhi-Qing[1,2], JIANG Zhi-Li[1,2], ZHANG Xing[1,2,*] (1. Research & Development Centre of Biorational Pesticides, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Research Center of Biopesticide Engineering & Technology, Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to evaluate the biological activities of wintergreen oil and cinnamon oil against mosquitoes, repellent and fumigant activities of wintergreen oil and cinnamon oil against *Culex pipiens pallens* were investigated via immersion method, "Y"-tube olfactometer and fumigation, respectively. The results showed that cinnamon oil and wintergreen oil had high larvicidal activity against *C. pipiens pallens* larvae, with the LC_{50} values (24 h) of 71.87 mg/L and 102.83 mg/L, respectively. Wintergreen oil and cinnamon oil exhibited good repellent activity against *C. pipiens pallens* adults (percent repellency >80%) at the dosage of 0.5 μL within 20 min. Wintergreen oil had excellent knockdown activity against *C. pipiens pallens* adults at the dose of 12 μL/L with the KT_{50} value of 3.97 min, and cinnamon oil exhibited high fumigation activity against *C. pipiens pallens* adults with the LC_{50} value of 0.31 μL/L after 5 h exposure. The mixture (1:1, v:v) of wintergreen oil and cinnamon oil performed both rapid knockdown and high lethal toxicity against *C. pipiens pallens* adults, suggesting that they have a synergistic effect. Wintergreen oil and cinnamon oil showed high larcicidal activity against *C. pipiens pallens* larvae and good repellent and fumigation activities against female *C. pipiens pallens* adults, suggesting that wintergreen oil and cinnamon oil could be exploited as potential botanical mosquito control agents.

Key words: *Culex pipiens pallens*; plant essential oil; wintergreen oil; cinnamon oil; larvicidal activity; repellent activity; fumigation activity

植物精油是植物体内代谢产生的一类重要次生物质，主要由分子量相对较小的简单化合物组成，通常被广泛用作食品和饮料的香料和调味剂。近年来，研究发现许多植物精油及其组分对害虫具有毒

基金项目：公益性行业(农业)科研专项(200903052)；农业部"引进国际先进农业科学技术计划"("948"计划)项目(2012-S11)
作者简介：马卫宾，男，1984 年10 月生，河南郑州人，博士研究生，主要从事植物源杀虫剂研究，E-mail：chinamwb@126.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail：zhxing1952@126.com
收稿日期 Received：2013-09-20；接受日期 Accepted：2013-11-25

杀、拒食、忌避、引诱、抑制生长发育等活性(江志利等，2002；陈根强等，2004)。此外，由于植物精油具有低毒、低残留、对环境兼容性好等特点，美国食品和药物管理局认为植物精油类农药对人类和环境的不利影响非常小(Jiang *et al.*, 2009)。因此，从植物精油资源中寻找具有杀虫活性的天然物质正在受到研究者越来越多的关注(Isman, 2004)。

蚊虫是一类重要的卫生害虫，它们不但能够通过骚扰、叮咬等方式危害人们生活，并且可以携带和传播很多病原体，导致丝虫病、登革热、疟疾等疾病的发生，严重威胁人们的身体健康(WHO, 1996；Hemingway, 2004)。长期以来，人们主要依赖化学合成农药来防止蚊虫侵扰和控制蚊媒疾病的传播(陆宝麟和赵彤言，2000)，特别是拟除虫菊酯类杀虫剂，然而由于长期、过量的使用，目前已经产生了如蚊虫抗药性、杀虫剂残留等问题(孟凤霞等，2011)。因此，开发新型、高效、环保的卫生杀虫剂已经成为防控卫生害虫的迫切需要，而基于植物精油的卫生害虫防控剂研究已成为这一领域的热点。近年来，国外的研究者发现了许多对蚊虫具有较好毒杀和驱避活性的植物精油，具有一定的研究价值和开发潜力(Amer and Mehlhorn, 2006；Kiran and Devi, 2007；Cheng *et al.*, 2008, 2009；Pandey *et al.*, 2009)；国内的研究也发现猫薄荷油主要成分假荆芥内酯对白纹伊蚊和淡色库蚊具驱避作用(郝蕙玲等，2006)，椿叶花椒果实精油对白纹伊蚊和致倦库蚊成虫及幼虫均具有良好的熏蒸及毒杀活性(张云等，2009)。虽然国内外已发现许多对蚊虫具有防控作用的植物精油，但由于受到资源和成本的限制，目前真正在生产实践中应用的品种仍然很少。

冬青油和肉桂油是分别从冬青叶和肉桂的枝叶中提取得到的两种植物精油，在自然界中资源丰富，并且已实现工业化生产，目前广泛应用在食品、日化、香料、医药等行业。在前期对 17 科 40 余种植物精油熏蒸活性筛选的基础上(付臣臣等，2013)，为进一步了解冬青油和肉桂油对蚊虫的生物活性，本研究系统评价了这两种精油对淡色库蚊幼虫的毒杀作用以及对其成虫的驱避和熏蒸活性，以期为开发基于植物精油的卫生害虫防控剂提供依据和参考。

1 材料与方法

1.1 供试精油

冬青油(水杨酸甲酯含量为 90.2%)与肉桂油(反式肉桂醛含量为 74.6%)购自广州恒信香料有限公司，均采用水蒸气蒸馏法制得。

1.2 供试昆虫

淡色库蚊 *Culex pipiens pallens* 为从中国军事医学科学院引种的未接触过任何杀虫剂的敏感品系，在西北农林科技大学无公害农药研究服务中心养虫室内饲养，饲养条件为：温度 26 ± 1℃，相对湿度 65% ± 5%，光照周期 12L∶12D。杀蚊幼活性试验挑选大小一致、健壮的 3 龄幼虫供试，熏蒸和驱避活性测定选取羽化 3 d 的整齐一致健康雌蚊供试。

1.3 杀蚊幼活性测定

两种供试精油对淡色库蚊幼虫的毒杀活性测定采用 WHO 推荐的浸液法。测定时，分别在 100 mL 烧杯中加入 49.5 mL 的去离子水，然后引入 10 头大小一致、健康强壮的淡色库蚊 3 龄幼虫，然后将供试精油用二甲基亚砜(DMSO)稀释成一定浓度梯度的 500 μL 母液，加入到盛有 49.5 mL 去离子水的小烧杯中。以加入 500 μL DMSO 的水溶液作为对照，每处理和对照设 4 次重复。处理后将烧杯置于温度 26 ± 1℃，相对湿度 65% ± 5%，光周期 12L∶12D 的条件下培养，在此过程中不喂食，24 h 后检查结果，计算死亡率和校正死亡率。淡色库蚊幼虫的死亡标准为试虫对镊子触碰没有反应。

1.4 驱避活性测定

冬青油和肉桂油对淡色库蚊的驱避活性测定采用“Y”型嗅觉仪法(Erler, 2006)。测定系统由“Y”型管、净化管、真空抽气泵和无味硅胶管连接组成。“Y”型管的主管长 10 cm、两侧臂管长 15 cm，两管夹角 60°，直径为 5 cm。测试在室温 26 ± 1℃、相对湿度 65% ± 10%、光照强度 140 Lux 条件下进行。先将 20 头雌蚊接入“Y”型管主管中，用微量进样器吸取 0.5 μL 精油于滤纸条上，放入一侧臂管入口处，另一侧臂管入口处放入不加精油的相同大小的滤纸条作为对照。开启抽气装置，外界空气经净化管中的活性炭吸附净化后，通过“Y”型管的两侧臂管进入主管，气体流速为 30 mL/min。滴加精油并开启抽气装置后开始计时，分别记录 5, 10, 15 和 20 min 两臂管的蚊虫数目。每种植物精油设 4 次重复，测试过程中调换“Y”型管两侧臂方向，以消除几何位置对蚊虫趋向行为的影响。

驱避率(%)(percent repellency, PR)计算公式：$PR = (C - T)/(C + T) \times 100\%$

其中，C 代表对照臂中的蚊虫数目，T 代表精油处理臂管中的蚊虫数目。

1.5　熏杀活性测定

植物精油对淡色库蚊的熏蒸活性测定采用密闭三角瓶熏蒸法（吴文君，1988；江志利等，2002），分别从击倒活性、致死活性以及二者的协同作用3个方面进行测定。试验方法为在三角瓶（V = 330 mL）中接入20头羽化3 d的健康整齐的淡色库蚊雌虫，同时将一条长3 cm宽1 cm的滤纸条的一端用大头针固定在橡皮塞上，用微量进样器在滤纸上加入一定剂量的供试精油，观察蚊虫的击倒和致死情况。具体为：测定击倒活性时，加入4 μL供试精油，迅速塞紧橡皮塞，同时开始计时，每隔30 s记录一次被击倒的试虫数，根据试虫的击倒时间计算KT_{50}。测定致死活性时将供试精油用丙酮稀释成不同梯度浓度，样品加入后迅速塞紧橡皮塞，5 h后收集击倒的蚊虫并转移到清洁的养蚊笼中，用5%葡萄糖水饲养，24 h后观察死亡率，计算毒力方程和致死中浓度LC_{50}。测定击倒和致死活性的联合作用时，将两种精油按1∶1体积比混配，以1.2 μL/L浓度熏蒸处理蚊虫，同时将两种精油在0.6 μL/L浓度下单独熏蒸蚊虫作为对照，观察并统计处理后0.5，1，3和5 h的蚊虫击倒率，5 h后收集击倒的蚊虫并转移到清洁的养蚊笼中用5%葡萄糖水饲养，24 h后观察死亡率。蚊虫的击倒标准为背部着地或侧躺，不能正常移动和飞行；死亡标准为用镊子尖部刺激蚊虫腹部而蚊虫没有反应。每浓度处理重复3次，设空白和溶剂两种对照。

1.6　数据处理

采用Abbott公式进行死亡率校正（Abbott，1925）：

校正死亡率 =（处理死亡率 − 对照死亡率）/（1 − 对照死亡率）× 100%；

死亡率 = 死亡虫数/供试虫数 × 100%。

采用机率值分析法计算供试精油的毒力方程和致死中浓度LC_{50}（Finney，1971），利用SPSS16.0统计软件对数据进行统计分析。

2　结果与分析

2.1　两种精油对淡色库蚊幼虫的毒杀作用

在供试浓度下，对照组（DMSO的水溶液）对淡色库蚊3龄幼虫没有毒杀活性，处理后24 h蚊虫死亡率为0。冬青油与肉桂油对淡色库蚊3龄幼虫的毒杀活性测定结果见表1。由表1可知，两种精油对淡色库蚊幼虫均有较强的毒杀作用，肉桂油对淡色库蚊幼虫的毒杀活性比冬青油高，24 h的LC_{50}分别为71.87 mg/L和102.83 mg/L。

2.2　驱避活性

由表2中数据可得出，采用“Y”型嗅觉仪法，在0.5 μL供试剂量下，冬青油和肉桂油对淡色库蚊均具有较好的驱避活性，其中冬青油在5 min内的驱避率为100%，肉桂油为93.75%。随着处理时间的延长，冬青油和肉桂油的驱避率都有所下降，但20 min内的驱避率仍保持在80%以上，说明这两种精油对淡色库蚊具有较好的空间驱避活性，但由于精油极易挥发，精油在“Y”型管空气中的浓度随着时间的延长逐渐降低，其驱蚊活性也随之减弱。

2.3　冬青油与肉桂油对淡色库蚊的熏杀活性

2.3.1　熏蒸击倒作用：基于前期对两种精油不同浓度的熏蒸试验预试，选用12 μL/L供试浓度测定两种精油对淡色库蚊的熏蒸击倒活性。表3结果表明，在12 μL/L供试浓度下，冬青油对淡色库蚊具有很好的击倒活性，KT_{50}为3.97 min，而肉桂油对淡色库蚊的KT_{50}为26.80 min。可以看出，在此浓度下，两种精油对淡色库蚊的熏蒸击倒活性具有很大差异，冬青油的熏蒸击倒活性显著优于肉桂油。

2.3.2　熏蒸致死作用：由表4结果可知，肉桂油对淡色库蚊表现出很好的的熏蒸致死活性，熏蒸处理5 h的LC_{50}为0.31 μL/L，而冬青油处理5 h的LC_{50}为1.69 μL/L。结合表3和表4的数据可知，冬青油和肉桂油对淡色库蚊表现出不同的熏蒸效果，冬青油对试虫具有击倒速度快但致死效果差的特点，而肉桂油则表现击倒速度慢但致死活性高的特点。

2.3.3　冬青油与肉桂油的联合作用：在实际的蚊虫防治工作中，对药剂的要求是高效、快速。基于冬青油和肉桂油对淡色库蚊分别具有较好的击倒活性和致死活性，进一步测定了二者混配后对淡色库蚊熏蒸的联合作用。通过预试，选取0.6 μL/L作为两种精油单用时的供试浓度，并将二者以1∶1体积比混配，研究两种精油的联合作用效果，结果见表5。

由表5结果可知，在0.6 μL/L供试浓度下，冬青油对蚊虫具有很好的击倒活性，熏蒸0.5 h后蚊虫的击倒率为100%，但蚊虫击倒后又能逐渐复苏，5 h死亡率为0；肉桂油的击倒活性较差，熏蒸1 h的击倒率仅为27.7%，但致死活性很好，熏蒸处理5 h后蚊虫的死亡率为76.2%。冬青油与肉桂油按1∶1体积比混配，在1.2 μL/L供试浓度下，混配药

表 1 冬青油与肉桂油对淡色库蚊 3 龄幼虫的毒杀活性测定(24 h)

Table 1 Larvicidal activity of wintergreen oil and cinnamon oil against the 3rd instar larvae of *Culex pipiens pallens* (24 h)

精油 Essential oils	LC_{50} (mg/L)	95% 置信区间(mg/L) 95% confidence limit	毒力方程 Regression equation	卡方值 Chi-square (χ^2)
冬青油 Wintergreen oil	102.83	96.70 - 109.36	$y = -5.30 + 5.12x$	3.63
肉桂油 Cinnamon oil	71.87	69.28 - 74.57	$y = -10.88 + 8.55x$	3.78

表 2 冬青油与肉桂油对淡色库蚊成虫的驱避活性

Table 2 Repellent activity of wintergreen oil and cinnamon oil against *Culex pipiens pallens* adults

精油 Essential oils	驱避率(%) Percent repellency			
	5 min	10 min	15 min	20 min
冬青油 Wintergreen oil	100.00 ± 0.00 a	97.37 ± 2.63 a	89.57 ± 3.79 b	80.91 ± 2.94 c
肉桂油 Cinnamon oil	93.75 ± 6.25 a	89.99 ± 6.38 a	83.85 ± 6.34 b	83.64 ± 3.03 b

精油的供试剂量为 0.5 μL。表中数据为 4 次重复的平均值 ± 标准误，每重复淡色库蚊雌蚊 20 头；表中同一行数据后标不同字母表示显著差异($P < 0.05$, LSD 检验)。The concentration of tested essential oil was 0.5 μL. Data are given as mean ± *SE* of 4 duplications of 20 adult females each, and means within a column followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$, LSD test).

表 3 冬青油与肉桂油对淡色库蚊成虫的熏蒸击倒活性

Table 3 Knockdown activity of wintergreen oil and cinnamon oil against *Culex pipiens pallens* adults

精油 Essential oils	KT_{50} (min)	95% 置信区间(min) 95% confidence limit	毒力方程 Toxicity regression equation	卡方值 Chi-square (χ^2)
冬青油 Wintergreen oil	3.97	3.82 - 4.13	$y = -2.09 + 11.83x$	1.07
肉桂油 Cinnamon oil	26.80	23.81 - 30.90	$y = -2.28 + 1.90x$	0.15

供试精油浓度为 12 μL/L; $\chi^2_{0.05,3} = 7.815$。The concentration of tested essential oil was 12 μL/L; $\chi^2_{0.05,3} = 7.815$.

表 4 冬青油与肉桂油对淡色库蚊成虫的熏蒸毒力(5 h)

Table 4 Fumigation toxicity of wintergreen oil and cinnamon oil to *Culex pipiens pallens* adults (5 h)

精油 Essential oils	LC_{50} (μL/L)	95% 置信区间(μL/L) 95% confidence limit	LC_{95} (μL/L)	毒力方程 Toxicity regression equation
冬青油 Wintergreen oil	1.69	1.53 - 1.93	2.91	$y = -2.09 + 11.83x$
肉桂油 Cinnamon oil	0.31	0.27 - 0.38	0.83	$y = -2.28 + 1.90x$

表 5 冬青油与肉桂油混配后对淡色库蚊成虫熏蒸不同时间的击倒活性和致死活性

Table 5 Knockdown and lethal activity of the mixture of wintergreen oil and cinnamon oil against *Culex pipiens pallens* adults after different exposure durations

精油 Essential oils	浓度(μL/L) Dose	击倒率(%) Percent knockdown				5 h 死亡率(%) Mortality at 5 h after treatment
		0.5 h	1 h	3 h	5 h	
冬青油 Wintergreen oil	0.6	100.0 ± 0.0 a	50.0 ± 5.0 b	10.0 ± 2.5 c	5.0 ± 2.9 c	0.0 ± 0.0 c
肉桂油 Cinnamon oil	0.6	11.1 ± 2.7 c	27.7 ± 6.5 c	75.3 ± 3.4 b	89.7 ± 5.8 b	76.2 ± 2.6 b
冬青油 + 肉桂油 Wintergreen oil + cinnamon oil	0.6 + 0.6	96.1 ± 1.5 b	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	81.3 ± 3.2 a

表中数据为 3 次重复的平均值 ± 标准差；表中同一列数据后标不同字母表示显著差异($P < 0.05$, LSD 检验)。Data are given as mean ± *SD* of 3 duplications, and means within a column followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$, LSD test).

剂对淡色库蚊兼有快速击倒和高致死率的作用效果，熏蒸 1 h 的击倒率可达 100%，并且蚊虫被击倒后不能复苏，5 h 死亡率可达 81.3%，高于肉桂油单用时蚊虫的死亡率。综合以上结果可以看出，肉桂油对淡色库蚊是一种较好的致死剂，冬青油在亚致死剂量下对淡色库蚊是一种击倒剂，二者混配后对淡色库蚊具有快速击倒和高效致死的综合效果。

3 讨论

冬青油和肉桂油对蚊虫具有多种作用方式。国内外文献报道了许多植物精油具有防控蚊虫的作用，但多侧重于杀蚊幼活性或驱避活性，其作用方式比较单一。例如，Cheng 等（2009）从台湾肉桂 *Cinnamomum osmophloeum* 中提取精油，发现其对 3 种蚊子的幼虫都具有很好的毒杀活性；Erler 等（2006）研究了 5 种植物精油对 *Culex pipiens* 的空间驱避活性，发现从桉属植物 *Eucalyptus camaldulensis* 果实中提取的精油在 5 μL 剂量下对蚊虫的 5 min 驱避率可达 100%。本研究发现冬青油和肉桂油对淡色库蚊具有多种作用方式：冬青油有对淡色库蚊具有较强的空间驱避作用和熏蒸击倒作用；肉桂油对淡色库蚊的幼虫和成虫均具有较好的毒杀活性；冬青油和肉桂油混配后对淡色库蚊成虫分别具有很好的熏蒸击倒和致死作用。

冬青油和肉桂油混用具有开发成为植物源卫生杀虫剂的潜力。目前卫生杀虫剂中所用的拟除虫菊酯类杀虫剂可以分为两类：击倒剂和致死剂，如胺菊酯是击倒剂，氯氰菊酯是致死剂，在实际使用中将二者混配使用，以达到快速、高效杀虫的目的（WHO，1999）。本研究发现冬青油在亚致死剂量下对淡色库蚊具有快速击倒活性，但击倒后蚊子能逐渐复苏；肉桂油对淡色库蚊具有很好的致死活性，但起效较慢；二者混配后对淡色库蚊表现出快速击倒和高效致死的综合效果，这为通过合理混配来开发快速、高效的植物精油卫生杀虫剂提供了参考和依据。

另外，植物精油是由多种单体化合物组成的混合物，其生物活性可能是多个单体之间的协同增效作用。大量研究表明精油的杀虫活性是其各组分之间协同作用的结果，表现在精油的杀虫活性要高于精油中的单体化合物单用时的活性（Bekele and Hassanali，2001；Hummelbrunner and Isman，2001；Singh *et al*.，2009）。本研究所用的冬青油和肉桂油中单体化合物的活性以及精油组分之间是否具有协同增效作用有待于进一步研究。

参考文献（References）

Abbott WS, 1925. A method for computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.*, 18: 265 – 267.

Amer A, Mehlhorn H, 2006. Repellency effect of forty-one essential oils against *Aedes*, *Anopheles*, and *Culex mosquitoes*. *Parasitol. Res.*, 99: 478 – 490.

Bekele J, Hassanali A, 2001. Blend effects in the toxicity of the essential oil constituents of *Ocimum kilimandscharicum* and *Ocimum kenyense* (Labiateae) on two post-harvest insect pests. *Phytochemistry*, 57: 385 – 391.

Chen GQ, Feng JT, Chen AL, Zhang X, 2004. Research progress on the ingredient of plant essential oil: terpinen-4-ol. *J. Northwest A&F Univ.* (*Nat. Sci. Ed.*), 32(8): 130 – 134. [陈根强，冯俊涛，陈安良，张兴，2004. 植物精油组分松油烯-4-醇研究进展. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，32(8)：130 – 134]

Cheng SS, Huang CG, ChenWJ, Kuo YH, Chang ST, 2008. Larvicidal activity of tectoquinone isolated from red heartwood-type *Cryptomeria japonica* against two mosquito species. *Bioresour. Technol.*, 99: 3617 – 3622.

Cheng SS, Liu JY, Huang CG, Hsui YR, Chen WJ, Chang ST, 2009. Insecticidal activities of leaf essential oils from *Cinnamomum osmophloeum* against three mosquito species. *Bioresour. Technol.*, 100: 457 – 464.

Erler F, Ulug I, Yalcinkaya B, 2006. Repellent activity of five essential oils against *Culex pipiens*. *Fitoterapia*, 77(7 – 8): 491 – 494.

Finney DJ, 1971. Probit Analysis. 3rd ed. Cambridge University. Press, Cambridge. 9 – 158.

Fu CC, Wan T, Jiang ZL, Wu H, Feng JT, Ma ZQ, Zhang X, 2013. Fumigation activity of 41 essential oils against *Culex pipiens pallens* (Diptera: Culicidae). *Acta Entomologica Sinica*, 56(7): 779 – 785. [付臣臣，万涛，江志利，吴华，冯俊涛，马志卿，张兴，2013. 41 种植物精油对淡色库蚊的熏蒸活性. 昆虫学报，56(7)：779 – 785]

Hao HL, Deng XJ, Du JW, 2006. Extraction of catnip essential oil components and their repellent activity against *Aedes albopictus* and *Culex pipien pallens*. *Acta Entomologica Sinica*, 49(3): 533 – 537. [郝蕙玲，邓晓军，杜家纬，2006. 猫薄荷精油有效成分的提取及其对白纹伊蚊、淡色库蚊的驱避活性. 昆虫学报，49(3)：533 – 537]

Hemingway J, 2004. Taking aim at mosquitoes. *Nature*, 430: 936.

Hummelbrunner LA, Isman MB, 2001. Acute, sublethal, antifeedant, and synergistic effects of monoterpenoid essential oil compounds on the tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Lep., Noctuidae). *J. Agric. Food Chem.*, 49: 715 – 720.

Isman MB, 2004. Plant essential oils as green pesticides for pest and disease manage ment. In: Nelson WM ed. Agricultural Applications in Green Chemistry. ACS Symposium Series 887. American Chemical Society, Washington, DC. 41 – 51.

Jiang ZL, Akhtar Y, Bradbury R, Zhang X, Isman MB, 2009. Comparative toxicity of essential oils of *Litsea pungens* and *Litsea cubeba* and blends of their major constituents against the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. *J. Agric. Food Chem*., 57: 4833 – 4837.

Jiang ZL, Chen AL, Bai W, Lin J, Zhang X, 2002. Fumigating and contact activity of 6 kinds of essential oils on *Musca domestica* L. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 4(1): 85 – 88. [江志利, 陈安良, 白伟, 林珽, 张兴, 2002. 六种植物精油对家蝇的熏蒸及触杀毒力测定. 农药学学报, 4(1): 85 – 88]

Kiran SR, Devi PS, 2007. Evaluation of mosquitocidal activity of essential oil and sesquiterpenes from leaves of *Chloroxylon swietenia* DC. *Parasitol. Res*., 101: 413 – 418.

Lu BL, Zhao TY, 2000. The mosquito studies in the past fifty years in China. *Acta Entomologica Sinica*, 43(Suppl.): 1 – 7. [陆宝麟, 赵彤言, 2000. 50 年来我国的蚊类研究. 昆虫学报(增刊): 1 – 7]

Meng FX, Jin JC, Chen Y, Liu QY, 2011. Resistance of *Culex pipiens pallens/Cx. pipiens quinquefasciatus* to commonly used insecticides in China. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 22(6): 517 – 520, 528. [孟凤霞, 靳建超, 陈云, 刘启勇, 2011. 我国淡色库蚊/致倦库蚊对常用化学杀虫剂的抗药性. 中国媒介生物学及控制杂志, 22(6): 517 – 520, 528]

Pandey SK, Upadhyay S, Tripathi AK, 2009. Insecticidal and repellent activities of thymol from the essential oil of *Trachyspermum ammi* (Linn) Sprague seeds against *Anopheles stephensi*. *Parasitol. Res*., 105: 507 – 512.

Singh R, Koul O, Rup PJ, Jindal J, 2009. Toxicity of some essential oil constituents and their binary mixtures against *Chilo partellus* (Lepidoptera: Pyralidae). *Int. J. Trop. Insect Sci*., 29: 93 – 101.

WHO, 1996. Report of the WHO Informal Consultation on the Evaluation and Testing of Insecticides. WHO, Geneva. 9, 32 – 36, 50 – 52.

WHO, 1999. Safe and Effective Use of Household Insecticide Products. WHO/CDS/CPC/WHOPES/99.1.18.

Wu WJ, 1988. Research Method for Plant Chemical Protection. Shaanxi Science and Technology Press, Xi'an. 43 – 100. [吴文君, 1988. 植物化学保护实验技术导论. 西安: 陕西科学技术出版社. 43 – 100]

Zhang Y, Peng YH, Chen FF, Zeng DQ, Huang Y, Zhong HY, 2009. Bioactivity and components of essential oil from *Zanthoxylum ailanthoides* fructification against two mosquito species. *Acta Entomologica Sinica*, 52(9): 1028 – 1033. [张云, 彭映辉, 陈飞飞, 曾冬琴, 黄谊, 钟海雁, 2009. 椿叶花椒果实精油对两种蚊虫的生物活性及成分分析. 昆虫学报, 52(9): 1028 – 1033]

(责任编辑: 赵利辉)